

计算机组成原理

计算机组成原理课程组

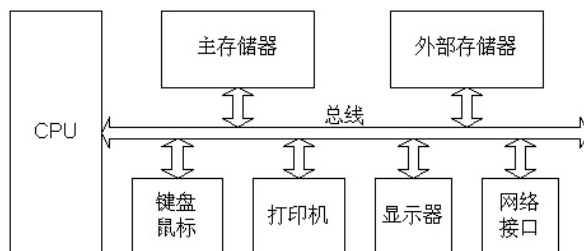
(刘旭东、高小鹏、肖利民、牛建伟、栾钟治)

第九部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

1.1 总线的一般概念

❖总线：连接两个或多个功能部件的一组公共的信号传输线。



1.1 总线的一般概念

❖总线特性

- 机械特性：机械连接方式。如几何尺寸、引脚数量、插头标准。
 - 连接方式：电缆式、主板式、底板式
- 电气特性：信号传输方向、有效电平、电平逻辑等。
 - 电平方式：单端方式（一组信号线、一个公共接地信号）、差分方式
 - 电平逻辑：正逻辑、负逻辑
- 功能特性：信号功能定义。
- 时间特性：信号之间的时序关系。

1.1 总线的一般概念

❖ 总线的设计要素

- 类型：专用或复用
 - 总线复用：地址总线与数据总线是否复用（时分多路复用）
- 仲裁方式：集中式或分布式
 - 总线上各部件使用总线的仲裁方式。
- 时序：同步/异步方式
 - 总线上的数据与时钟同步工作的总线为同步总线，与时钟异步的总线为异步总线。
- 总线宽度：数据总线位数（根数），如32位，64位。
- 标准传输率：每秒传输的最大字节量。
- 信号线数：所有信号线的总数。

1.1 总线的一般概念

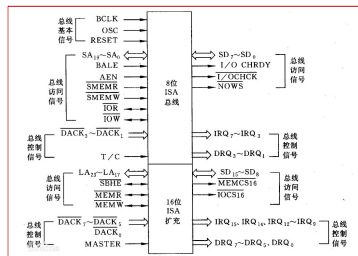
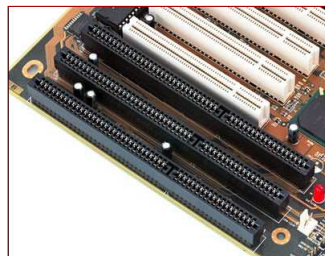
❖ 总线的分类

- **片内总线**：芯片内部连接各元件的总线，如CPU内部的总线，是CPU内各寄存器、寄存器与ALU之间传递信息的公共通道。
- **系统总线**：CPU、主存、I/O部件（I/O接口）之间传递信息的公共通道。一般分为数据总线、地址总线和控制总线三部分
 - ◆ 数据线：传输数据；
 - ◆ 地址线：传输存储器地址和I/O地址；
 - ◆ 控制线：
 - 数据传输控制信号：存储器读写控制信号、I/O读写控制信号，应答信号等。
 - 总线请求和交换信号：总线请求、总线允许，中断请求与响应信号等。
 - 其他控制信号：时钟、复位、电源线等
- **通信总线**：用于计算机系统之间或计算机系统与其他系统之间的通信。

1.1 总线的一般概念

❖ ISA (Industrial Standard Architecture, 工业标准体系结构)

- IBM公司为PC/AT电脑而制定的总线标准，最开始是8位总线；
- 1984年推出IBM-PC/AT系统，ISA从8位扩充到16位；
- 16位数据总线，24位地址总线；
- 总线时钟频率8MHz，最大数据传输率16MB/s。



1.1 总线的一般概念

❖ EISA(Extended Industrial Standard Architecture, 扩展的ISA)

- 1988年，康柏、HP、NEC等9个厂商协同把ISA扩展到32位，即EISA总线(Extended ISA)。
- 32位数据总线，32位地址总线，总线时钟频率8MHz，最大数据传输率33MB/s。
- 与ISA兼容，连接器是一个两层槽设计，既能接受ISA卡，又能接受EISA卡。顶层与ISA卡相连，底层则与EISA卡相连。

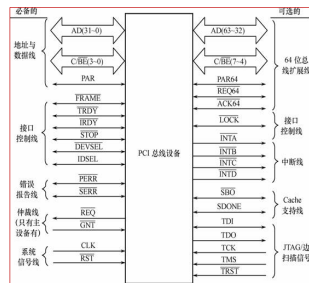
引脚号	信号名	引脚号	信号名	引脚号	信号名
Ground	Ground	101	IO/CH0K	Ground	Ground
+5 Vcc	RESET DRV	102	DA	DA	DA
+5 Vcc	PG 0	103	DA	DA	DA
Reserved	PG 1	104	DA	DA	DA
Reserved	PG 2	105	DA	DA	DA
Reserved	PG 3	106	DA	DA	DA
Reserved	PG 4	107	DA	DA	DA
Reserved	PG 5	108	DA	DA	DA
Reserved	PG 6	109	DA	DA	DA
+5 Vcc	+12 Vcc	110	DA	DA	DA
Ground	0 Vcc	111	DA	DA	DA
Reserved	PG 7	112	DA	DA	DA
Reserved	PG 8	113	DA	DA	DA
Reserved	PG 9	114	DA	DA	DA
Reserved	PG 10	115	DA	DA	DA
Reserved	PG 11	116	DA	DA	DA
Reserved	PG 12	117	DA	DA	DA
Reserved	PG 13	118	DA	DA	DA
Reserved	PG 14	119	DA	DA	DA
Reserved	PG 15	120	DA	DA	DA
Reserved	PG 16	121	DA	DA	DA
Reserved	PG 17	122	DA	DA	DA
Reserved	PG 18	123	DA	DA	DA
Reserved	PG 19	124	DA	DA	DA
Reserved	PG 20	125	DA	DA	DA
Reserved	PG 21	126	DA	DA	DA
Reserved	PG 22	127	DA	DA	DA
Reserved	PG 23	128	DA	DA	DA
Reserved	PG 24	129	DA	DA	DA
Reserved	PG 25	130	DA	DA	DA
Reserved	PG 26	131	DA	DA	DA
Reserved	PG 27	132	DA	DA	DA
Reserved	PG 28	133	DA	DA	DA
Reserved	PG 29	134	DA	DA	DA
Reserved	PG 30	135	DA	DA	DA
Reserved	PG 31	136	DA	DA	DA
Reserved	PG 32	137	DA	DA	DA
Reserved	PG 33	138	DA	DA	DA
Reserved	PG 34	139	DA	DA	DA
Reserved	PG 35	140	DA	DA	DA
Reserved	PG 36	141	DA	DA	DA
Reserved	PG 37	142	DA	DA	DA
Reserved	PG 38	143	DA	DA	DA
Reserved	PG 39	144	DA	DA	DA
Reserved	PG 40	145	DA	DA	DA
Reserved	PG 41	146	DA	DA	DA
Reserved	PG 42	147	DA	DA	DA
Reserved	PG 43	148	DA	DA	DA
Reserved	PG 44	149	DA	DA	DA
Reserved	PG 45	150	DA	DA	DA
Reserved	PG 46	151	DA	DA	DA
Reserved	PG 47	152	DA	DA	DA
Reserved	PG 48	153	DA	DA	DA
Reserved	PG 49	154	DA	DA	DA
Reserved	PG 50	155	DA	DA	DA
Reserved	PG 51	156	DA	DA	DA
Reserved	PG 52	157	DA	DA	DA
Reserved	PG 53	158	DA	DA	DA
Reserved	PG 54	159	DA	DA	DA
Reserved	PG 55	160	DA	DA	DA
Reserved	PG 56	161	DA	DA	DA
Reserved	PG 57	162	DA	DA	DA
Reserved	PG 58	163	DA	DA	DA
Reserved	PG 59	164	DA	DA	DA
Reserved	PG 60	165	DA	DA	DA
Reserved	PG 61	166	DA	DA	DA
Reserved	PG 62	167	DA	DA	DA
Reserved	PG 63	168	DA	DA	DA
Reserved	PG 64	169	DA	DA	DA
Reserved	PG 65	170	DA	DA	DA
Reserved	PG 66	171	DA	DA	DA
Reserved	PG 67	172	DA	DA	DA
Reserved	PG 68	173	DA	DA	DA
Reserved	PG 69	174	DA	DA	DA
Reserved	PG 70	175	DA	DA	DA
Reserved	PG 71	176	DA	DA	DA
Reserved	PG 72	177	DA	DA	DA
Reserved	PG 73	178	DA	DA	DA
Reserved	PG 74	179	DA	DA	DA
Reserved	PG 75	180	DA	DA	DA
Reserved	PG 76	181	DA	DA	DA
Reserved	PG 77	182	DA	DA	DA
Reserved	PG 78	183	DA	DA	DA
Reserved	PG 79	184	DA	DA	DA
Reserved	PG 80	185	DA	DA	DA
Reserved	PG 81	186	DA	DA	DA
Reserved	PG 82	187	DA	DA	DA
Reserved	PG 83	188	DA	DA	DA
Reserved	PG 84	189	DA	DA	DA
Reserved	PG 85	190	DA	DA	DA
Reserved	PG 86	191	DA	DA	DA
Reserved	PG 87	192	DA	DA	DA
Reserved	PG 88	193	DA	DA	DA
Reserved	PG 89	194	DA	DA	DA
Reserved	PG 90	195	DA	DA	DA
Reserved	PG 91	196	DA	DA	DA
Reserved	PG 92	197	DA	DA	DA
Reserved	PG 93	198	DA	DA	DA
Reserved	PG 94	199	DA	DA	DA
Reserved	PG 95	200	DA	DA	DA
Reserved	PG 96	201	DA	DA	DA
Reserved	PG 97	202	DA	DA	DA
Reserved	PG 98	203	DA	DA	DA
Reserved	PG 99	204	DA	DA	DA
Reserved	PG 100	205	DA	DA	DA
Reserved	PG 101	206	DA	DA	DA
Reserved	PG 102	207	DA	DA	DA
Reserved	PG 103	208	DA	DA	DA
Reserved	PG 104	209	DA	DA	DA
Reserved	PG 105	210	DA	DA	DA
Reserved	PG 106	211	DA	DA	DA
Reserved	PG 107	212	DA	DA	DA
Reserved	PG 108	213	DA	DA	DA
Reserved	PG 109	214	DA	DA	DA
Reserved	PG 110	215	DA	DA	DA
Reserved	PG 111	216	DA	DA	DA
Reserved	PG 112	217	DA	DA	DA
Reserved	PG 113	218	DA	DA	DA
Reserved	PG 114	219	DA	DA	DA
Reserved	PG 115	220	DA	DA	DA
Reserved	PG 116	221	DA	DA	DA
Reserved	PG 117	222	DA	DA	DA
Reserved	PG 118	223	DA	DA	DA
Reserved	PG 119	224	DA	DA	DA
Reserved	PG 120	225	DA	DA	DA
Reserved	PG 121	226	DA	DA	DA
Reserved	PG 122	227	DA	DA	DA
Reserved	PG 123	228	DA	DA	DA
Reserved	PG 124	229	DA	DA	DA
Reserved	PG 125	230	DA	DA	DA
Reserved	PG 126	231	DA	DA	DA
Reserved	PG 127	232	DA	DA	DA
Reserved	PG 128	233	DA	DA	DA
Reserved	PG 129	234	DA	DA	DA
Reserved	PG 130	235	DA	DA	DA
Reserved	PG 131	236	DA	DA	DA
Reserved	PG 132	237	DA	DA	DA
Reserved	PG 133	238	DA	DA	DA
Reserved	PG 134	239	DA	DA	DA
Reserved	PG 135	240	DA	DA	DA
Reserved	PG 136	241	DA	DA	DA
Reserved	PG 137	242	DA	DA	DA
Reserved	PG 138	243	DA	DA	DA
Reserved	PG 139	244	DA	DA	DA
Reserved	PG 140	245	DA	DA	DA
Reserved	PG 141	246	DA	DA	DA
Reserved	PG 142	247	DA	DA	DA
Reserved	PG 143	248	DA	DA	DA
Reserved	PG 144	249	DA	DA	DA
Reserved	PG 145	250	DA	DA	DA
Reserved	PG 146	251	DA	DA	DA
Reserved	PG 147	252	DA	DA	DA
Reserved	PG 148	253	DA	DA	DA
Reserved	PG 149	254	DA	DA	DA
Reserved	PG 150	255	DA	DA	DA
Reserved	PG 151	256	DA	DA	DA
Reserved	PG 152	257	DA	DA	DA
Reserved	PG 153	258	DA	DA	DA
Reserved	PG 154	259	DA	DA	DA
Reserved	PG 155	260	DA	DA	DA
Reserved	PG 156	261	DA	DA	DA
Reserved	PG 157	262	DA	DA	DA
Reserved	PG 158	263	DA	DA	DA
Reserved	PG 159	264	DA	DA	DA
Reserved	PG 160	265	DA	DA	DA
Reserved	PG 161	266	DA	DA	DA
Reserved	PG 162	267	DA	DA	DA
Reserved	PG 163	268	DA	DA	DA
Reserved	PG 164	269	DA	DA	DA
Reserved	PG 165	270	DA	DA	DA
Reserved	PG 166	271	DA	DA	DA
Reserved	PG 167	272	DA	DA	DA
Reserved	PG 168	273	DA	DA	DA
Reserved	PG 169	274	DA	DA	DA
Reserved	PG 170	275	DA	DA	DA
Reserved	PG 171	276	DA	DA	DA
Reserved	PG 172	277	DA	DA	DA
Reserved	PG 173	278	DA	DA	DA
Reserved	PG 174	279	DA	DA	DA
Reserved	PG 175	280	DA	DA	DA
Reserved	PG 176	281	DA	DA	DA
Reserved	PG 177	282	DA	DA	DA
Reserved	PG 178	283	DA	DA	DA
Reserved	PG 179	284	DA	DA	DA
Reserved	PG 180	285	DA	DA	DA
Reserved	PG 181	286	DA	DA	DA
Reserved	PG 182	287	DA	DA	DA
Reserved	PG 183	288	DA	DA	DA
Reserved	PG 184	289	DA	DA	DA
Reserved	PG 185	290	DA	DA	DA
Reserved	PG 186	291	DA	DA	DA
Reserved	PG 187	292	DA	DA	DA
Reserved	PG 188	293	DA	DA	DA
Reserved	PG 189	294	DA	DA	DA
Reserved	PG 190	295	DA	DA	DA
Reserved	PG 191	296	DA	DA	DA
Reserved	PG 192	297	DA	DA	DA
Reserved	PG 193	298	DA	DA	DA
Reserved	PG 194	299	DA	DA	DA
Reserved	PG 195	300	DA	DA	DA
Reserved	PG 196	301	DA	DA	DA
Reserved	PG 197	302	DA	DA	DA
Reserved	PG 198	303	DA	DA	DA
Reserved	PG 199	304	DA	DA	DA
Reserved	PG 200	305	DA	DA	DA
Reserved	PG 201	306	DA	DA	DA
Reserved	PG 202	307	DA	DA	DA
Reserved	PG 203	308	DA	DA	DA
Reserved	PG 204	309	DA	DA	DA
Reserved	PG 205	310	DA	DA	DA
Reserved	PG 206	311	DA	DA	DA
Reserved	PG 207	312	DA	DA	DA
Reserved	PG 208	313	DA	DA	DA
Reserved	PG 209	314	DA	DA	DA
Reserved	PG 210	315	DA	DA	DA
Reserved	PG 211	316	DA	DA	DA
Reserved	PG 212	317	DA	DA	DA
Reserved	PG 213	318	DA	DA	DA
Reserved	PG 214	319	DA	DA	DA
Reserved	PG 215	320	DA	DA	DA
Reserved	PG 216	321	DA	DA	DA
Reserved	PG 217	322	DA	DA	DA
Reserved	PG 218	323	DA	DA	DA
Reserved	PG 219	324	DA	DA	DA
Reserved	PG 220	325	DA	DA	DA
Reserved	PG 221	326	DA	DA	DA
Reserved	PG 222	327	DA	DA	DA
Reserved	PG 223	328	DA	DA	DA
Reserved	PG 224	329	DA	DA	DA
Reserved	PG 225	330	DA	DA	DA
Reserved	PG 226	331	DA	DA	DA
Reserved	PG 227	332	DA	DA	DA
Reserved	PG 228	333	DA	DA	DA
Reserved	PG 229	334	DA	DA	DA
Reserved	PG 230	335	DA	DA	DA
Reserved	PG 231	336	DA	DA	DA
Reserved	PG 232	337	DA	DA	DA
Reserved	PG 233	338	DA	DA	DA
Reserved	PG 234	339	DA	DA	DA
Reserved	PG 235	340	DA	DA	DA
Reserved	PG 236	341	DA	DA	DA
Reserved	PG 237	342	DA	DA	DA
Reserved	PG 238	343	DA	DA	DA
Reserved	PG 239	344	DA	DA	DA
Reserved	PG 240	345	DA	DA	DA
Reserved	PG 241	346	DA	DA	DA
Reserved	PG 242	347	DA	DA	DA
Reserved	PG 243	348	DA	DA	DA
Reserved	PG 244	349	DA	DA	DA
Reserved	PG 245	350	DA	DA	DA
Reserved	PG 246	351	DA	DA	DA
Reserved	PG 247	352	DA	DA	DA
Reserved	PG 248	353	DA	DA	DA
Reserved	PG 249	354	DA	DA	DA
Reserved	PG 250	355	DA	DA	DA
Reserved	PG 251	356	DA	DA	DA
Reserved	PG 252	357	DA	DA	DA
Reserved	PG 253	358	DA	DA	DA
Reserved	PG 254	359	DA	DA	DA
Reserved	PG 255	360	DA	DA	DA
Reserved	PG 256	361	DA	DA	DA
Reserved	PG 257	362	DA	DA	DA
Reserved	PG 258	363	DA	DA	DA
Reserved	PG 259	364	DA	DA	DA
Reserved	PG 260	365	DA	DA	DA
Reserved	PG 261	366	DA	DA	DA
Reserved	PG 262	367	DA	DA	DA
Reserved	PG 263	368	DA	DA	DA
Reserved	PG 264	369	DA	DA	DA
Reserved	PG 265	370	DA	DA	DA
Reserved	PG 266	371			

1.1 总线的一般概念

❖ PCI (Peripheral Component Interconnect, 外部设备互连)

- Intel 1991年, 局部总线
- 32位或64位的总线位宽
- 33MHz频率下, 133MB/s~266MB/s的最大数据传输率
- 66MHz频率下, 266MB/s~533MB/s的最大数据传输率
- 64位的存储器和I/O寻址能力
- 完全的多总线主控器
- 无限突发读/写方式
- CPU和存储器子系统或PCI设备并发工作
- 地址线和数据线多路复用
- 自动配置, 即插即用
- PCI信号线: 必备的和可选的。作为从设备为最少47条, 作为主设备为最少49条。

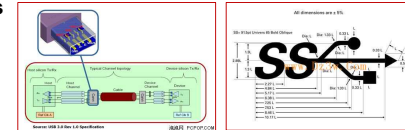
❖ 后续发展: PCI-X, PCI-E



1.1 总线的一般概念

❖ USB (Universal Serial Bus, 通用串行总线)

- 1995年, Intel、Compaq、Digital、IBM、Microsoft、NEC等7家世界著名的计算机和通信公司共同推出;
- USB采用主从结构, 主机叫Host, 从机叫Device。外观上Host一侧为4针公插, Device一侧为4针母插。可为外设提供电源;
- 允许外设开机状态下热插拔, 最多可串接下来127个外设
- 管脚定义: VCC (5V)、D-、D+、GND
- USB 1.0: 1.5Mbps ~12Mbps
- USB 2.0: 数据传输率最高可达480Mbps
- USB 3.0: SuperSpeed USB, 最大传输带宽高达5.0Gbps, 也就是625MB/s



1.1 总线的一般概念

五种主要总线标准的关键特性

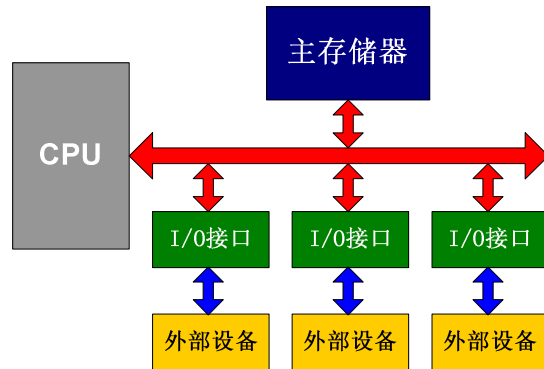
Characteristic	Firewire (1394)	USB 2.0	PCI Express	Serial ATA	Serial Attached SCSI
Intended use	External	External	Internal	Internal	External
Devices per channel	63	127	1	1	4
Basic data width (signals)	4	2	2 per lane	4	4
Theoretical peak bandwidth	50 MB/sec (Firewire 400) or 100 MB/sec (Firewire 800)	0.2 MB/sec (low speed), 1.5 MB/sec (full speed), or 60 MB/sec (high speed)	250 MB/sec per lane (1x); PCIe cards come as 1x, 2x, 4x, 8x, 16x, or 32x	300 MB/sec	300 MB/sec
Hot pluggable	Yes	Yes	Depends on form factor	Yes	Yes
Maximum bus length (copper wire)	4.5 meters	5 meters	0.5 meters	1 meter	8 meters
Standard name	IEEE 1394, 1394b	USB Implementors Forum	PCI-SIG	SATA-IO	T10 committee

第九部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

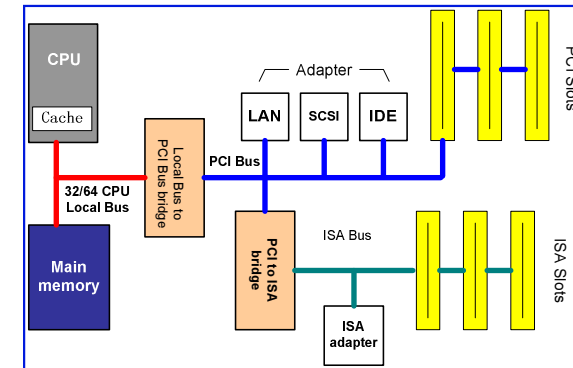
1.2 总线结构

❖ 单总线结构



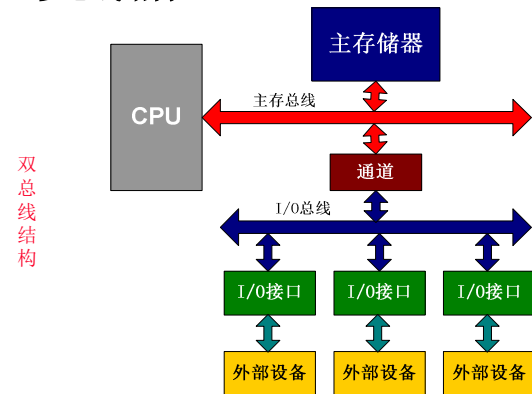
1.2 总线结构

❖ 多总线结构



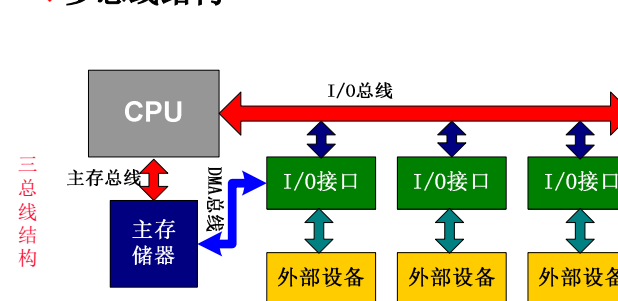
1.2 总线结构

❖ 多总线结构

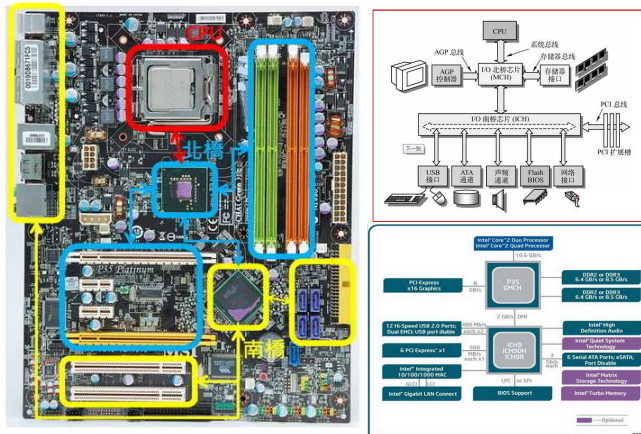


1.2 总线结构

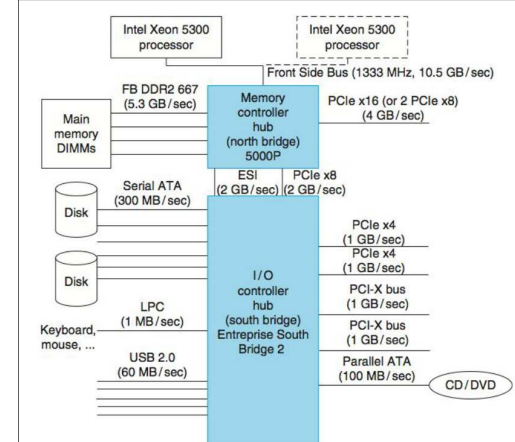
❖ 多总线结构



X86设备的I/O互联



X86设备的I/O互联



1.3 总线的仲裁方式

❖ 总线设计的要素

- 信号线类型：占用、复用（地址数据分时复用）
- 总线事务类型
 - 总线事务：总线上一对设备之间的一次信息交换
 - 主设备（请求代理）、从设备（响应代理）
 - 事务类型：存储器读（写）、I/O读（写）、中断响应等等
- 总线宽度
- 总线仲裁方式：多个设备同时申请总线时的问题

1.3 总线的仲裁方式

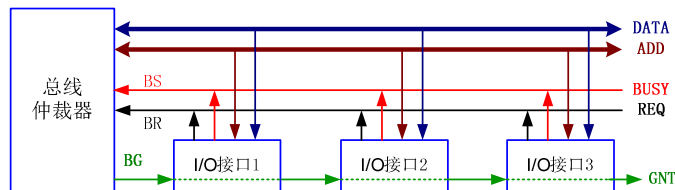
❖ 总线仲裁方式

- 集中式仲裁方式
 - 链式查询方式
 - 计数器定时查询方式
 - 独立请求方式
- 分布式仲裁方式
 - 自举分布式仲裁
 - 冲突检测分布式仲裁
 - 并行竞争分布式仲裁

1.3 总线的仲裁方式

❖ 链式查询方式

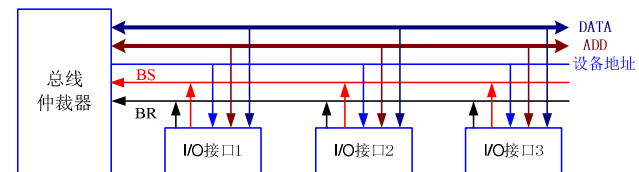
- 总线控制器（仲裁器）收到总线申请BR，BG（总线同意信号）逐个往下传；
- 遇到某接口有总线申请（BR：总线申请信号），BG停止往下传；
- 该接口获得总线使用权，并建立总线忙信号BS。



1.3 总线的仲裁方式

❖ 计数器定时查询方式

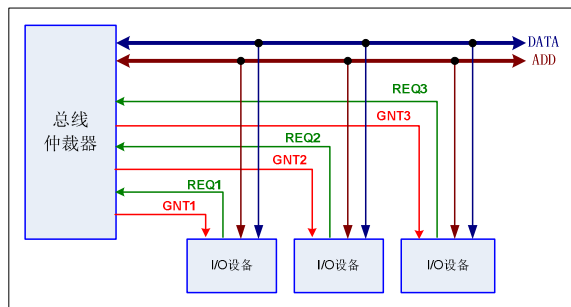
- 总线控制器（仲裁器）收到总线申请BR，计数器开始计数；
- 当某个有总线申请的设备地址与计数器一致，便获得总线使用权，并建立总线忙信号BS。



1.3 总线的仲裁方式

❖ 独立请求方式

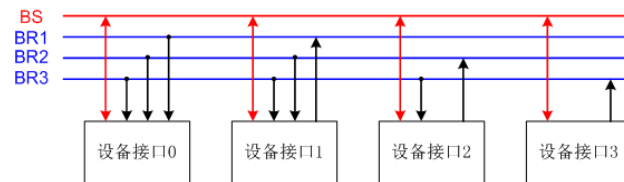
- 每个设备有独立的请求信号和总线同意信号；
- 总线控制器根据设备的优先级决定将总线的使用权交给哪个设备。



1.3 总线的仲裁方式

❖ 自举分布式仲裁方式

- 不需要集中的总线仲裁器
- 每个设备优先级固定，各设备根据优先级使用总线
- 图：BR1、BR2、BR3分别是设备1、设备2和设备3的总线申请，BS是总线忙信号，设备0只有在BR1、BR2、BR3都没有申请并且BS表示不忙时才能使用总线（将BS置成有效）



1.3 总线的仲裁方式

❖ 冲突检测分布式仲裁方式

- 设备先查总线是否空闲，若是，立即使用总线（置总线忙）
- 冲突：两个设备同时检测到总线空闲并同时使用总线的现象
- 传输流程
 1. 首先侦听总线，以检测是否发生冲突
 2. 若无冲突，开始传输
 3. 如发生冲突，两个设备都停止传输，延迟一个随机时间后再重新侦听
- 一般用于网络通信，如以太网

1.3 总线的仲裁方式

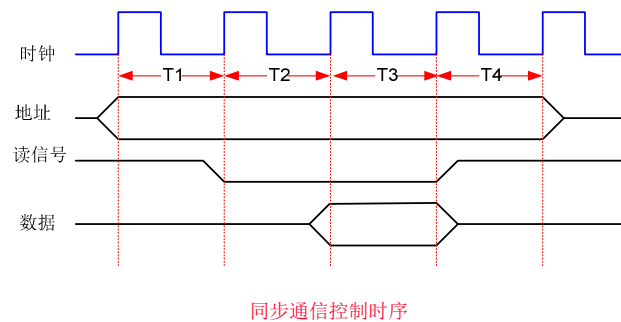
❖ 并行竞争分布式仲裁方式

- 基本思想：
 - 每个设备都有唯一的仲裁号
 - 设备申请总线时，主设备将仲裁号发送到仲裁线上；
 - 仲裁号将用在并行竞争算法中
 - 每个设备根据仲裁算法决定在一定的时间段后占用总线还是撤销仲裁号
- 较为复杂但有效的总线仲裁

1.4 总线的通信控制方式

❖ 同步通信控制方式

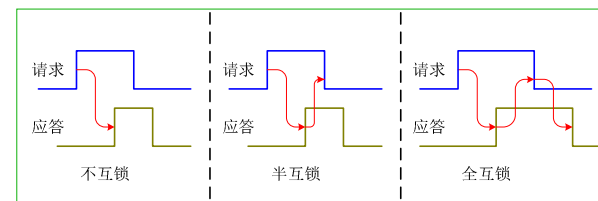
- 数据传输在一个统一的时钟同步信号的控制下进行：



1.4 总线通信的控制方式

❖ 异步通信控制方式

- 没有固定的时钟周期；
- 采用应答方式完成数据传输（握手协议）
- 有全互锁（三次握手）、半互锁（两次握手）和不互锁（一次握手）三种时序。



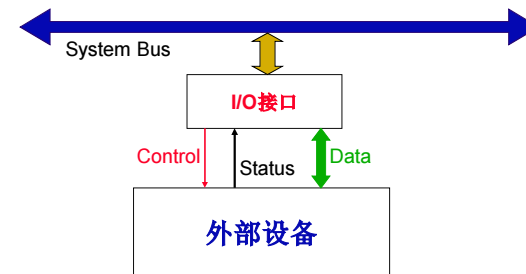
第六部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

2.1 I/O接口

❖ 外部设备并不直接挂接在系统总线上,而是通过I/O接口为桥梁实现与系统总线的连接

- 各种外设使用不同的操作方法,由CPU来直接控制不同的外设不切实际。
- 外设的数据传送速度比存储器和处理器的速度慢得多,使用高速的系统总线与慢速的外设直接连接,不切实际。
- 外设经常使用与处理器不同的数据格式和字长度。



2.1 I/O接口

❖ I/O接口的功能

- 识别I/O地址,即地址译码;
- 实现主机与I/O设备的数据交换、控制命令的传递和状态检测与传递;
- 提供缓冲、暂存和驱动能力;
- 进行数据格式、类型方面的转换(串并行转换,电平转换等);
- 支持一定的I/O方式(程序查询、程序中断、DMA等);
- I/O控制与定时

2.1 I/O接口

❖ I/O接口的分类

- 按传送数据格式:串行接口,并行接口
 - 串行接口适合速度低、传输距离长的环境
 - 并行接口适合速度高、传输距离短的环境
- 按I/O方式:程序查询接口、中断接口、DMA接口、通道控制接口
- 按时序控制方式:同步接口、异步接口
 - 同步接口:数据传送由一个统一的时钟信号同步控制
 - 异步接口:数据传送采用异步应答方式控制

2.1 I/O接口

❖ I/O操作的过程

- 处理器查询I/O接口状态，以检查连接设备的状态；
- I/O接口回送设备状态；
- 如果设备可用，并准备好，CPU向I/O接口发出命令，请求传送；
- I/O接口获得来自外设的数据（字或字节）；
- 数据从I/O接口传送自CPU。

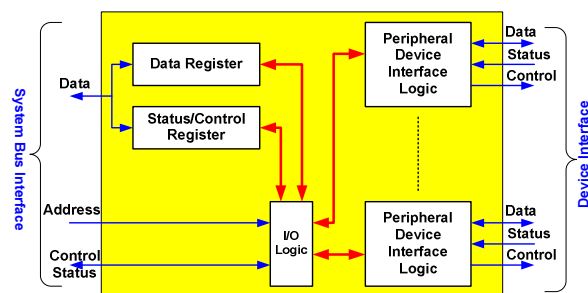
2.1 I/O接口

❖ I/O设备的编址

- I/O接口的编址
- 编址方式
 - 独立编址方式：存储器地址与I/O地址分开，CPU具有专用的I/O指令，系统总线中具有区别存储器读写和I/O操作的控制信号，并以此区别地址总线上的地址是存储器地址还是I/O地址。
 - 统一编址方式：存储器地址与I/O地址统一考虑，地址空间的一部分是存储器，另一部分是I/O，支持存储器操作的指令都可用于I/O操作。
- I/O地址（I/O接口地址，I/O端口地址）：实际上是I/O接口电路中寄存器的地址。

2.1 I/O接口

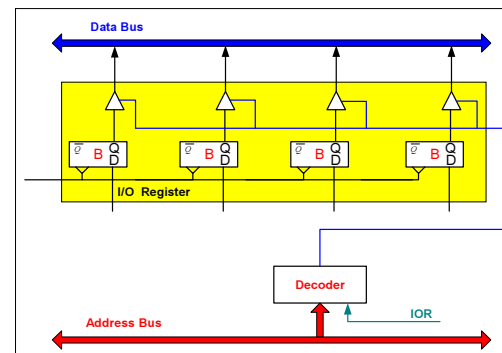
❖ I/O接口的通用结构



2.1 I/O接口

❖ I/O接口地址选择（译码）

- I/O接口地址是I/O接口电路中寄存器的地址
- 单独编址方式下的I/O地址选择电路



第六部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

3.1 程序查询I/O方式

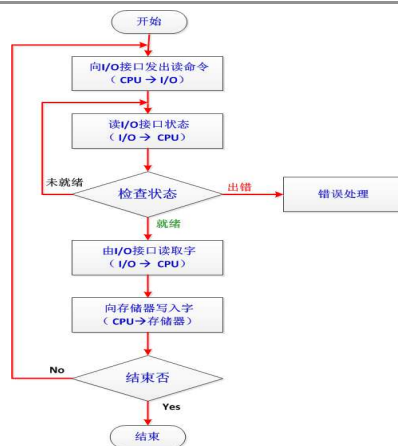
❖ 也称编程式I/O，处理器执行程序直接控制I/O，包括：

- 检测设备状态
- 发送读写命令（处理器发送I/O命令后，必须等待，直到I/O操作完成）
- 传送数据

❖ I/O命令

- 控制命令：激活外设完成动作。如指示磁带机快进或快退，控制命令与设备类型相关；
- 测试命令：测试与I/O接口及其外部设备的各种状态条件；
- 读命令：使I/O接口从外设获得一个数据项，存入内部缓冲区；
- 写命令：使I/O接口从数据总线获得一个数据项，然后传送到外设。

3.1 程序查询I/O方式



3.1 程序查询I/O方式

❖ 示例（串行接口COM1（RS-232C串行接口）

- 状态寄存器端口地址：3FD
 - 状态寄存器：61H表示数据准备就绪
- 数据寄存器端口地址：3F8

```
RdSta: MOV DX,3FDH
        IN AL,DX
        CMP AL,61H
        JNE RdSta
        MOV DX,3F8H
        IN AL,DX
```



3.1 程序查询I/O方式

❖ 程序查询I/O接口的基本组成

- Status Register
- Data Register (Input Register, Output Register)
- Address Selected Logic
- Bus Interface Logic

❖ 程序查询I/O方式的特点

- I/O操作由CPU直接完成（通过执行I/O指令完成）
- 外设速度慢，CPU速度快，在外设准备过程中，CPU处在不断的查询之中，CPU的效率得到了极大的浪费。
- 外设与CPU完全串行工作。

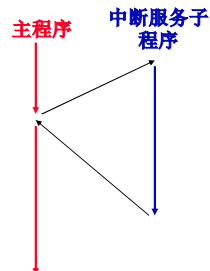
第六部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断的概念

- 机器出现了一些紧急事务，CPU不得不停下当前正在执行的程序，转去处理紧急事务，当紧急事务处理完后，继续执行被中断的程序。
- 一般情况下，中断是随机的；
- 主程序：被中断的程序；
- 中断服务子程序：处理中断事务的程序。



4.1 中断与中断I/O

❖ 引起中断的因素（中断源）

- 人为设置的中断：自愿中断，可重复
- 程序性事故：如溢出、除“零”等
- 硬件故障：如电源掉电、磁盘损坏
- I/O操作：I/O设备准备就绪，请求操作
- 外部事件：如键盘操作

❖ 中断源分类

- 不可屏蔽中断：CPU不能不响应；
- 可屏蔽中断：若中断源被屏蔽，CPU不响应

❖ 中断的分类

- 非屏蔽中断与可屏蔽中断
- 程序中断与简单中断
- 硬中断与软中断（软中断不是真正的中断）

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断系统需要解决的问题

- 中断源如何向CPU提出中断申请;
- 多个中断同时申请时, 中断系统如何响应;
- CPU响应中断的时间、条件和方式;
- CPU响应中断后如何保护现场;
- CPU响应中断后, 如何转向中断服务子程序;
- 中断处理结束后, CPU如何恢复现场返回主程序断点位置;
- 中断处理过程中出现新的中断申请怎么处理

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断请求

- 中断请求触发器 (INTR): 每个中断源配置一个中断请求触发器;
- 中断请求标记寄存器: 各中断源的中断请求触发器组成中断请求标记寄存器;

1	2	3	4			n
掉电	过热	主存读写检验错	溢出		键盘输入	打印机输出

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断判优逻辑

- 中断系统任何时刻最多只能响应一个中断源的请求
- 硬件排队判优
- 软件排队判优

❖ 中断服务子程序

- 中断向量: 中断服务子程序的入口地址;
- 中断向量表: 保存所有中断向量的内存区域, 一般固定。

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断响应

- 条件: 当前执行的程序允许被中断 (即中断允许标志位为允许中断), 非屏蔽中断不受中断允许标志位的限制。
- 时间: 当前指令执行完后, 才能响应中断
- 在允许中断的前提下, 每条机器指令的执行周期中实际上包含一个中断周期, 指令中断隐指令。

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断处理

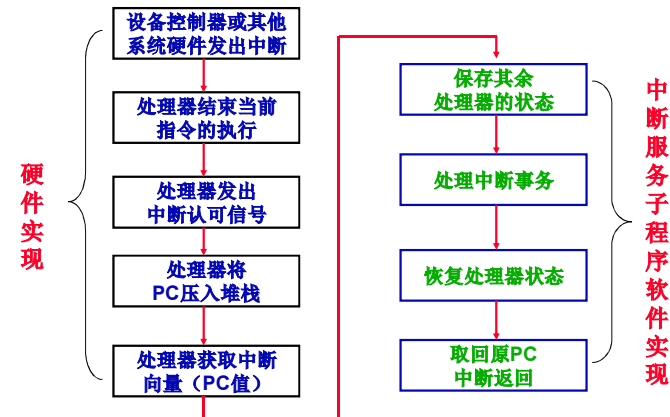
➤ 硬件自动执行中断隐指令

- 保护程序断点：程序计数器内容入栈；
- 查找中断服务子程序入口地址（中断向量）送PC，转向中断服务子程序；
- 关中断。

➤ CPU执行中断服务子程序；

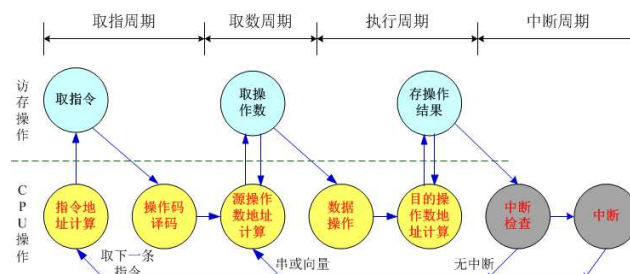
- 执行中断服务处理功能
- 从中断服务子程序中返回：恢复程序断点，即把保存在堆栈中的PC内容弹出送PC，接下来继续执行主程序。

4.1 中断与中断I/O



4.1 中断与中断I/O

❖ 有中断的指令周期状态图



4.1 中断与中断I/O

❖ 中断I/O接口的基本组成

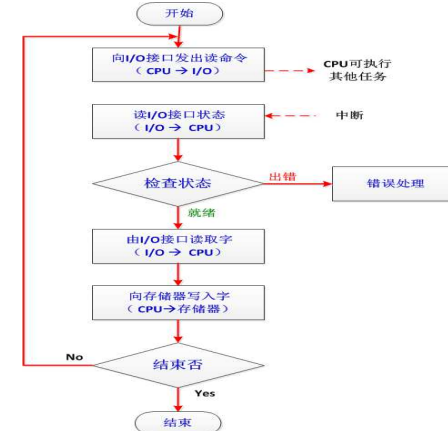
- Data Input Register
- Data Output Register
- Status Register
- Control Register
- Address Selected Logic
- Interrupt Control Logic
- Bus Interface Logic

4.1 中断与中断I/O

❖ 中断I/O方式的特点

- I/O操作仍然由CPU通过I/O指令完成
- 在外设准备阶段，CPU可以执行其他程序，仅在外设准备就绪后，CPU才中断正在执行的程序，处理I/O事务。
- 在外设准备阶段，CPU与外设的工作可以认为是并行的。
- 中断I/O方式是目前最主要的I/O方式

4.1 中断与中断I/O

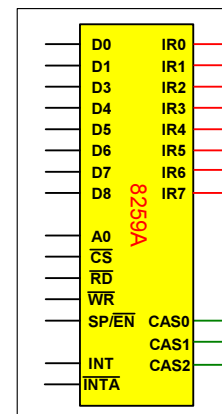


4.1 中断与中断I/O

❖ 多重中断（自学部分）

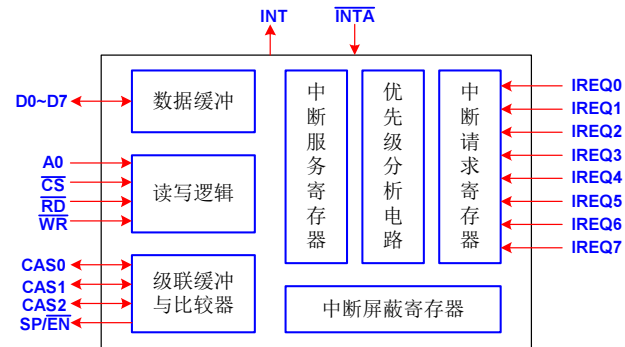
- 多重中断的概念
- 实现多重中断的条件
- 中断屏蔽触发器
- 中断屏蔽字
- 中断屏蔽字与中断优先级的关系
- 中断处理次序与中断屏蔽字的关系
- 多重中断的断点保护

4.2 中断控制器8259A



D0—D7: 双向数据线，通常连接处理器
IR0—IR7: 中断请求输入，接其他I/O接口的中断申请
INT: 中断请求输出，接处理器中断请求输入。
INTA: 中断响应输入
A0: 用于选择8259内部的命令字
CAS0—CAS3: 用于级联
CS: 片选信号
RD, WR: 读写控制信号

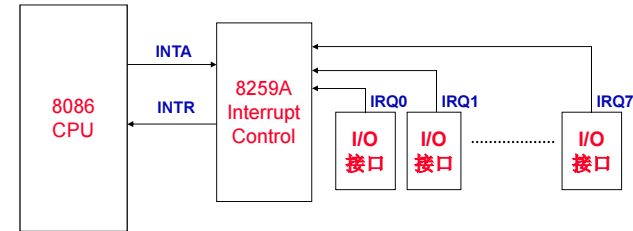
4.2 中断控制器8259A



4.2 中断控制器8259A

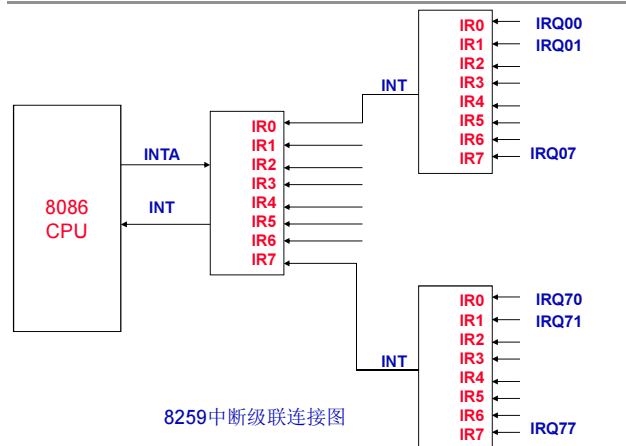
❖ 8259A与X86 (8086) CPU的连接

- Intel 8086提供单一的中断请求 (INTR) 线和单一的中断应答 (INTA) 线;
- 8259A为CPU提供中断管理, 外设 (接口) 连接到8259A, 8259A再连接到CPU。
- 8259A从I/O接口接收中断请求, 确定优先级, 通过INTR线向处理器发出中断请求; CPU通过INTA应答, 8259A将中断向量信息放到数据线上; CPU开始处理中断, 并直接与I/O接口通信完成数据读写。
- 8259A最多处理8个I/O接口中断, 通过级联可以处理64个I/O中断。



8259与8086的基本连接

4.2 中断控制器8259A



8259中断级联连接图

X86的中断处理

❖ X86中断与异常

➢ 中断

- 可屏蔽中断: 由处理器INTR引脚接收。中断允许标志 (IF) 被置位时, 处理器响应中断, 否则不响应;
- 不可屏蔽中断: 有处理器NMI引脚接收。这类中断的响应不能被阻止。

➢ 异常

- 处理器检测的异常: 当试图执行一条指令而处理器遇到一盒错误时此异常发生;
- 程序异常: 一些指令 (INTO、INT3等) 能产生异常。

❖ X86中断向量表

- 每一类中断被指派一个中断号, 中断号作为访问中断向量表的索引;
- 中断向量是中断服务程序的起始地址 (段基址: 段内偏移), 4个字节
- 实地址模式下, 系统刚引导时, 内存0x00000到0x0003FF共1KB的空间用于存放中断向量表。每个中断向量占4字节, 共256个中断向量。

X86的中断处理

❖X86中断向量表（部分）

内存地址 中断向量号 用途

*****8259中断向量*****		
0x03C - 0x03F	F	LPT2控制器中断--并行打印机 (IRQ7)
0x038 - 0x03B	E	磁盘控制器中断--软磁盘 (IRQ6)
0x034 - 0x037	D	LPT2控制器中断--硬磁盘 (并行口) (IRQ5)
0x030 - 0x033	C	异步通信 (primary)--串行通信接口1 (IRQ4)
0x02C - 0x02F	B	异步通信 (secondary)--串行通信接口2 (IRQ3)
0x028 - 0x02B	A	彩色/图形 (IRQ2)
0x024 - 0x027	9	键盘 (IRQ1)
0x020 - 0x023	8	定时器 (IRQ0)
*****8088中断向量*****		
0x01C - 0x01F	7	保留
0x018 - 0x01B	6	保留
0x014 - 0x017	5	打印屏幕
0x010 - 0x013	4	溢出
0x00C - 0x00F	3	断点指令
0x008 - 0x00B	2	非屏蔽中断
0x004 - 0x007	1	单步 (用于DEBUG)
0x000 - 0x003	0	除以零

X86的中断处理

❖X86中断向量表（部分）

内存地址 中断向量号 用途

*****DOS中断向量*****		
0x118 - 0x11B	46	第二硬盘参数块
0x114 - 0x117	45	保留
0x110 - 0x113	44	PC机使用，用于指向低分辨率图形字符参数表
0x108 - 0x10F	42-43	未使用
0x104 - 0x107	41	硬盘参数块
0x0C0 - 0x0CB	34-40	未使用
0x0CC - 0x0CF	33	鼠标中断
0x0C0 - 0x0CB	30-32	未使用
0x0BC - 0x0BF	2F	多路服务中断
0x0B8 - 0x0BB	2E	基本SHELL程序装入
0x0AC - 0x0B7	28-2D	未使用
0x0A8 - 0x0AB	2A	Microsoft 网络接口
0x0A4 - 0x0A7	29	快速写字符
0x0A0 - 0x0A3	28	DOS安全使用
0x09C - 0x09F	27	终止并驻留程序
0x098 - 0x09B	26	绝对磁盘写功能
0x094 - 0x097	25	绝对磁盘读功能
0x090 - 0x093	24	严重错误处理 (用户不能直接调用)
0x08C - 0x08F	23	Ctrl+Break 处理地址 (用户不能直接调用)
0x088 - 0x08B	22	程序中中止时DOS返回地址 (用户不能直接调用)
0x084 - 0x087	21	DOS系统功能调用
0x080 - 0x083	20	DOS中断返回

X86的中断处理

❖X86中断处理过程

1. FLAG寄存器入栈;
2. 中断 (IF) 和自陷 (TF) 两个标志清除，这就禁止了INTR中断、自陷中断或单步中断;
3. 当前代码段 (CS) 寄存器和当前指令指针 (IP) 寄存器的内容入栈;
4. 若中断伴随有错误代码，则错误代码也入栈;
5. 读取中断向量表的对应内容，将其装入CS和IP寄存器。控制转移到中断服务子程序继续执行。
6. 中断返回：中断服务子程序执行IRET指令，使得保存在堆栈内的值被取回，实现断点恢复。

第六部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

5.1 DMA的一般概念

❖ 程序I/O与中断I/O的不足

- I/O传送速度受处理器测试和服务设备速度的限制
- 处理器直接负责管理I/O，对于每一次I/O传送，处理器必须执行一些指令。
- 考虑批量（数据块）传送：
 - 程序I/O方式：处理器做不了其他工作；
 - 中断I/O方式：I/O传输效率较低。

❖ DMA (Direct Memory Access)

- CPU对总线的控制被临时禁止。
- DMA控制器接管总线控制权，控制数据直接在存储器与外设之间高速交换，CPU不再介入具体的I/O操作，由DMA控制器来负责提供存储器地址信号、读写控制信号等。
- CPU与I/O设备在更大的程度上并行工作，效率更高。
- DMA方式适合高速批量的数据传输，如视频显示刷新、磁盘存储系统的读写，存储器到存储器的传输等。

5.2 DMA过程

❖ CPU的工作：初始化DMA控制器

- 设置数据传送方向：是请求读还是请求写（对存储器而言）
- 设置I/O接口地址：DMA操作所涉及的I/O接口的地址
- 设置存储器起始地址：读或写存储器的起始单元地址
- 设置传送的数据数量：传送数据的字数
- 有关中断方式的设置：DMA结束后通过中断方式请求CPU处理

❖ DMA请求

- 当接口做好数据传输的准备，通过有关逻辑向CPU发出DMA请求信号。

❖ DMA响应

- CPU接到DMA请求，在当前总线周期操作结束后，暂停CPU对系统总线的控制和使用，发出DMA响应信号，并交出系统总线的控制权。

5.2 DMA过程

❖ DMA操作

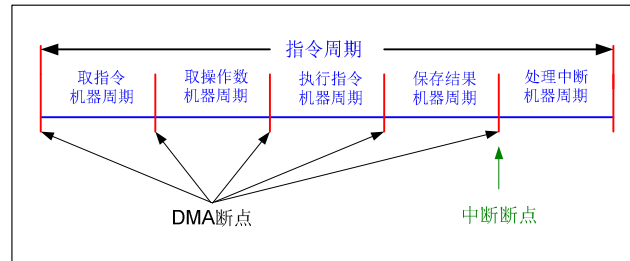
- DMA控制器接到DMA应答信号后，通过控制逻辑向系统总线发送存储器地址信号、存储器读写控制信号、I/O接口读写控制信号等，完成一次数据传送。这些操作完全由硬件控制，一般仅需要一个总线周期，所以这种方式称为**周期窃取（cycle-stealing）方式**。
- 所有数据传送结束后，通过中断方式告知CPU进行善后处理。
- CPU仅在开始DMA操作之前和完成DMA操作之后参与I/O处理，在DMA过程中，CPU可以运行原来的程序

5.2 DMA过程

❖ DMA方式

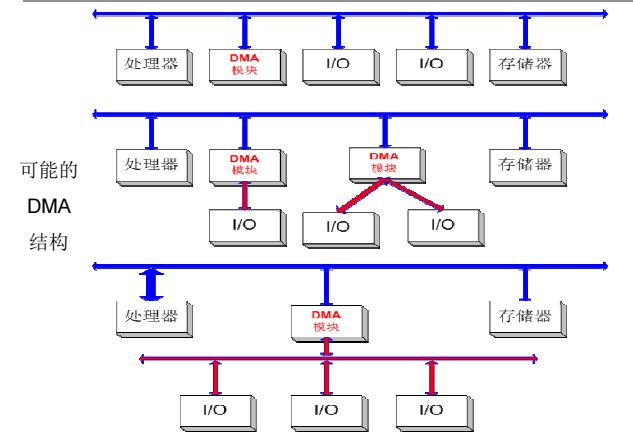
- 周期窃取方式（单字传送方式）
 - 每次DMA请求得到响应后，DMA控制器窃取一个总线周期完成一次数据传送，然后释放总线。
 - 一般适应存储器速度远高于I/O设备速度的情况。
- 停止CPU访问内存（成组传送方式）
 - 一次DMA请求得到响应后，DMA控制器完全占用总线，进行多次DMA传送，直到所有数据传送完毕才释放总线，这段时间完全停止CPU访问内存。
 - 适应高速外设与存储器交换数据的情况。

5.2 DMA过程



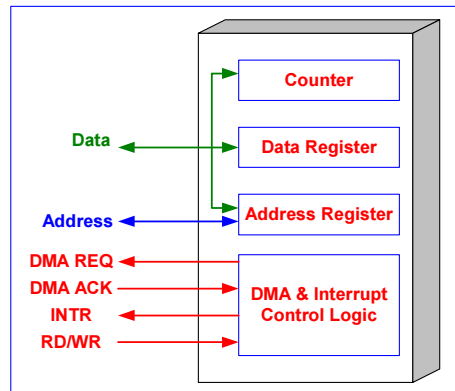
指令周期中的DMA和中断断点

5.3 DMA控制器的结构

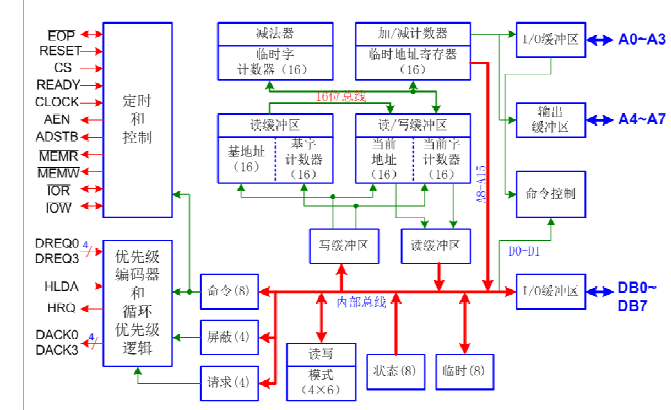


5.3 DMA控制器的结构

- Counter: 长度计数器，保存传送数据的字数。
- Data Reg: 数据寄存器。
- Address Reg: 地址寄存器，向地址总线提供存储器地址。
- DMA控制逻辑
- DMA状态逻辑
- 中断控制逻辑



5.3 DMA控制器的结构



8237A-5 可编程DMA控制器逻辑结构

5.4 DMA控制器的类型

❖ 选择型DMA控制器

- 物理上可以连接多个I/O接口（外设）；
- 逻辑上只能连接一个设备，即在某一时间段只能为其中一台外设服务。
- 适应于数据传输率很高（接近于内存）的外设数据传输服务。

❖ 多路型DMA控制器

- 物理上可以连接多个I/O接口（外设）；
- 逻辑上也可连接多个设备，可通过交叉服务的方式为多台外设服务；
- 多路型DMA控制器内部应包括多个DMA通道；
- 适应于多个慢速（相对）外设的数据传输服务。

第九部分 总线与I/O

- 一、总线
- 二、I/O接口
- 三、程序查询I/O方式
- 四、中断与中断I/O方式
- 五、DMA I/O方式
- 六、I/O通道

6.1 I/O通道及其特点

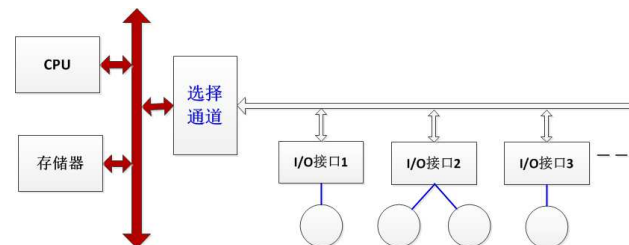
❖ I/O通道的特点

- I/O通道是一种专用的I/O控制器，具有自己的指令系统（基本上都是I/O指令）和执行这些I/O指令的专用处理器；
- I/O通道执行通道程序来实现和管理I/O，CPU基本上不需要管理I/O，CPU的效率得到更大的提高。
- 通道程序由操作系统根据I/O任务的需求自动生成，存放在存储器中，通道程序由操作系统管理，
- CPU通过请求I/O通道执行存储器中的通道程序来启动一次I/O数据传送，通道程序将指定一个或几个设备、一块或几块存储区域、优先级以及出错时的处理行为等，I/O通道通过执行这些指令来控制数据传送。

6.2 通道分类

❖ 选择通道

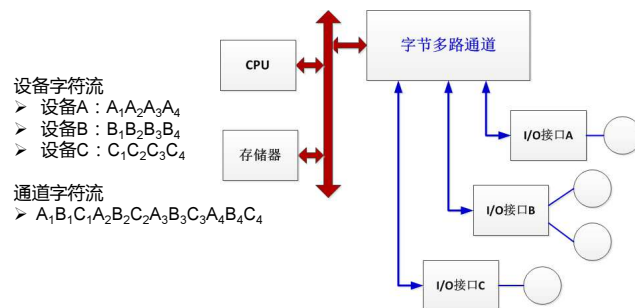
- 一般用于高速外部设备的数据传输。
- 通道可以连接多台高速设备，但一次只能为其中一台设备服务；
- 与一台设备的成组数据传送结束后，才能选择另一台设备；
- 通道数据传输率 = 一台设备的数据传输率。
- 一旦选择了一个外设，即使该外设没有准备好，也只能等待。



6.2 通道分类

❖ 字节多路通道

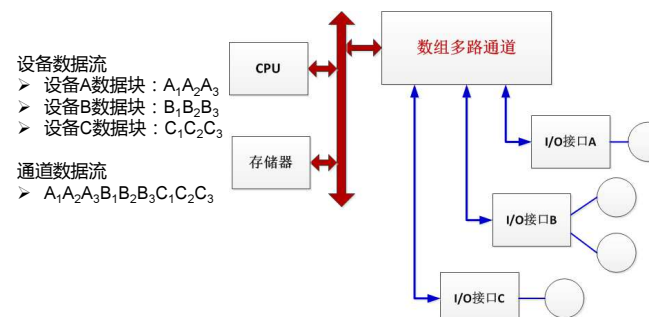
- 通道连接多台慢速外设，通道可以同时为多台设备服务；
- 以字节为单位交叉传送各外设的数据；
- 通道的数据传输率 = 各外设的数据传输率之和。



6.2 通道分类

❖ 数组多路通道

- 通道可以连接多台高速外设，通道可以同时为多台设备服务；
- 以数据块为单位交叉传送各外设数据。
- 通道数据传输率 = 各设备数据传输率之和



I/O方式小结

❖ I/O方式的演变（CPU从I/O事务中的解放）

- ① **直接控制方式**：CPU直接控制外设，主要用于简单的微处理器控制设备；
- ② **程序I/O方式**：增加控制器和I/O模块，处理器使用编程I/O，使处理器从外设的I/O细节中解脱出来；
- ③ **中断I/O方式**：增加控制器和I/O模块，采用中断I/O方式，处理器不需要浪费时间等待I/O操作完成，提高了处理器的效率；
- ④ **DMA方式**：I/O模块通过DMA直接存储存储器，除在传输开始和结束时，传输数据不需要处理器参与；
- ⑤ **I/O通道方式**：I/O模块成为有自主控制权的处理器，有处理I/O的专用指令集。CPU指示I/O处理器执行存储器中的I/O程序，I/O处理器不需要CPU干预就能获取并执行I/O指令。这允许CPU指派一系列的I/O活动，并只在整个活动执行完成后才中断CPU；
- ⑥ **I/O处理器方式**：I/O模块带局部存储器，成为自治的计算机。这种结构可以控制大量的I/O设备而最小化CPU的干预。

举例

❖ 例：

假设一32位处理器总线时钟频率为400MHz，支持多种总线事务。其中最短的总线事务为存储器读事务，需要4个总线时钟周期，第一个时钟周期传送地址和读命令，第4个时钟周期取数；最长的总线事务是突发传送8次数据，需要11个总线时钟周期完成，第一个时钟周期传送地址和读命令，第4个时钟周期开始连续传送8个数据，每个时钟周期传送一次数据。

- 1) 该总线是同步总线还是异步总线；
- 2) 总线的最大数据传输率为多少；
- 3) 若处理器一直持续发起最短总线事务，则此时总线数据传输率是多少？
- 4) 若处理器一直持续发起最长总线事务，则此时总线数据传输率是多少？

举例

❖ 例：

某计算机字长为32位，CPU主频为500MHz，CPI为5（即执行每条指令平均需5个时钟周期）。假定某外设的数据传输率为0.5MB/S，采用中断方式与主机进行数据传送，每次传送32位，对应的中断服务程序包含18条指令，中断服务的其他开销相当于2条指令的执行时间。请回答下列问题，要求给出计算过程。

1. 中断方式下CPU用于该外设I/O的时间占CPU时间的百分比是多少？
2. 若该外设的数据传输率为5MB/S，改用DMA方式传送数据，假定每次DMA传送块大小为5000字节，且DMA预处理和后处理的总开销为500个时钟周期，则CPU用于该外设I/O的时间占整个CPU时间的百分比是多少？（假设DMA与CPU之间没有访内冲突）。